

В. В. ВИТКЕВИЧ

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ВСПЫШЕК РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 14 VII 1952)

### 1. Метод

В настоящее время экспериментально установлено, что радиоизлучение Солнца имеет, кроме сравнительно постоянной составляющей, и нерегулярную составляющую с кратковременными импульсами радиоизлучения<sup>(1-5)</sup>. Эти импульсы радиоизлучения часто возникают приблизительно одновременно с хромосферными извержениями.

Было обнаружено еще в первых работах<sup>(6)</sup>, что неполяризованные импульсы радиоизлучения Солнца длительностью порядка секунды на частотах 60—100 Мгц часто имеют двугорбую форму (рис. 1а). Возможное объяснение этого факта<sup>(7)</sup> состоит в том, что аппаратура принимает энергию импульса, приходящую по двум путям: первый путь прямой, а второй идет в глубь короны и резко меняет свое направление вблизи от тех слоев короны, где показатель преломления равен нулю (рис. 1б). Если это так, то первый максимум соответствует прямой волне, а второй — волне эхо. Расчеты показывают, что на волне 5 м запаздывание эхо может быть равно нескольким секундам, а ослабление по интенсивности в несколько раз, что по порядку величины совпадает с результатами наблюдений. Если бы такой механизм возникновения двугорбой кривой подтвердился, то в наших руках оказался бы в принципе тот же способ исследования короны путем радиопросвечивания, который был предложен автором ранее<sup>(8)</sup>, отличающийся, однако, той особенностью, что в качестве источника радиоизлучения использовались бы не радиозвезды, а импульсы радиоизлучения, возникающие в солнечной короне.

Из сказанного ясно, что чрезвычайно важно иметь возможность в течение короткого промежутка времени жизни импульса определять его координаты и разделять несколько импульсов, следующих друг за другом. Ниже описывается скелетная схема (рис. 2) предлагаемой для этого установки и приводится расчет ее чувствительности.

Возьмем обычную интерференционную систему, состоящую из двух антенн. Подключим параллельно два радиоприемных устройства, состоящих в общем случае из усилителей высокой частоты, промежуточной частоты и детекторов. Оба канала должны иметь по возможности одинаковые частотные и амплитудные характеристики.

«Сигнал» может выделяться как обычным компенсационным, так и модуляционным способом. Усилим теперь выпрямленный ток каждого

из каналов и подведем к пластинам осциллографа, как указано на чертеже.

Если точки подключения двух приемников, как показано, сдвинуты на  $\frac{1}{4}$  электрической длины волны, то очевидно, что их интерференционные картины будут сдвинуты по отношению друг к другу на  $180^\circ$ . Если коэффициенты усиления каждого из каналов до пластин осциллографа одинаковы, то мощность от одного  $P_1 = P_0 (1 - \cos \psi)$ , а мощность от второго равна  $P_2 = P_0 (1 + \cos \psi)$ , и угол наклона прямой  $\varphi$  на осциллографе определяется из соотношения:

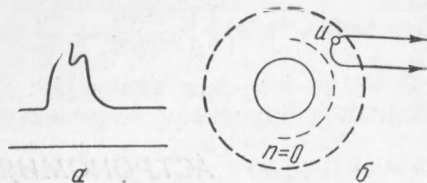


Рис. 1. *a* — типичная „двугорбая“ кривая вспышки радиоизлучения, *b* — возможное объяснение образования прямой волны и волны эхо

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}^2 \frac{\psi}{2},$$

так что половина лепестка ( $\psi = \pi$ ) соответствует повороту прямой на осциллографе на угол  $\pi/2$ . Эта система (как, впрочем, и любая интерференционная система со многими лепестками) дает не однозначное определение угловой координаты, а с точностью до половины лепестка интерференционной картины. Заметим, что удобнее работать с системой, у которой выход прямо пропорционален не мощности, а напряжению; тогда  $\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \psi$ , и в точках, близких к значениям  $\psi = 0$  и  $\psi = 90^\circ$ , разрешающая сила установки будет выше, чем когда выход пропорционален мощности.

Таким образом, каждая вспышка радиоизлучения будет создавать на осциллографе прямую линию, по наклону которой можно судить об угле прихода волны\*. Можно, разумеется, не пользоваться осциллографом, а на выходе каждого устройства иметь регистрирующие приборы. Сравнивая амплитуды одновременных всплесков на двух лентах, можно определить координаты всплеска. Однако такая установка дает одну координату вспышки, а две со взаимно-перпендикулярными базами — две координаты.

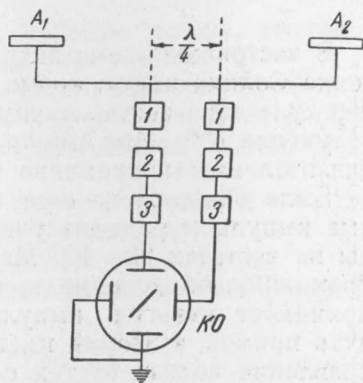


Рис. 2. Скелетная схема для определения координат вспышек радиоизлучения.  $A_1, A_2$  — антенны; 1 — приемник, 2 — компенсационный детектор, 3 — усилитель постоянного тока, КО — катодный осциллограф

## 2. Чувствительность метода

Предлагаемая система связана, вообще говоря, с уменьшением постоянной времени, так как для регистрации кратковременных импульсов радиоизлучения постоянная времени выходного устройства должна быть, по крайней мере, в несколько раз меньше длительности одного импульса. Впрочем, это обстоятельство является принципиальным; мы определим поэтому чувствительность аппаратуры при приеме отдельных кратковременных импульсов радиоизлучения. Рассмотрим сперва случай одной антенны с одним приемным устройством. Минимальная температура антенны, которая может быть зареги-

\* При систематических наблюдениях, повидимому, желательно будет фотографировать вспышки кинокамерой.

стрирована, определяется, как известно, выражением:

$$T_{am} = (N - 1) T_0 \alpha \sqrt{\frac{\Delta F}{\Delta f}}, \quad (1)$$

где  $\Delta f$  — полоса пропускания приемника;  $\Delta F$  — полоса пропускания выходного фильтра, причем можно положить  $T \approx 1/\Delta F$ , где  $T$  — постоянная времени выхода;  $T_0 = 300^\circ$  — температура установки;  $N$  — шум-фактор приемника;  $\alpha$  — коэффициент порядка 1, зависящий от частотных характеристик аппаратуры.

Если  $\tau$  — время жизни импульса, то для уверенной его регистрации необходима постоянная времени  $T = \tau/n$ , где  $n$  может быть принято  $n \sim 10$ . Учитывая также, что выражение (1) определяет минимальную температуру, которую может зарегистрировать измеритель, и что для уверенного приема следует проводить измерение с запасом  $m$  по интенсивности, так что  $T_m = m T_{am}$ , найдем:

$$T_m = (N - 1) T_0 \alpha m \sqrt{n} \sqrt{\frac{1}{\tau \Delta f}}. \quad (2)$$

Обозначим через  $T_c$ ,  $\Omega_c$ ,  $T_e$ ,  $\Omega_e$ , соответственно, значения температуры и телесных углов „спокойного“ Солнца и исследуемого импульса радиоизлучения, через  $\eta_m = T_e \Omega_e / T_c \Omega_c$  — отношение их интенсивностей, через  $\Omega_a$  — телесный угол раствора антенны.

Пересчитывая  $T_e$  к антенне, найдем:

$$[T_e \Omega_e \sqrt{\tau}]_{\min} = (N - 1) T_0 \alpha m \sqrt{n} \Omega_a \Delta f^{-1/2}. \quad (3)$$

Здесь все величины, стоящие слева, относятся к импульсу радиоизлучения. Полагая  $m = 30$ ,  $n = 10$ ,  $\alpha = 1$ ,  $T_0 = 300^\circ$ , получим расчетную формулу, связывающую величины, относящиеся к импульсу радиоизлучения  $T_e$ ,  $\Omega_e$ ,  $\tau$ , с данными аппаратуры  $N - 1$ ,  $\alpha$ ,  $\Omega_a$ ,  $\Delta f$ :

$$[T_e \Omega_e \sqrt{\tau}]_{\min} = 3 \cdot 10^4 \alpha (N - 1) \Omega_a \Delta f^{-1/2}. \quad (3')$$

Иногда может оказаться удобным интенсивность импульса отнести к энергии радиоизлучения спокойного Солнца. Находим:

$$\eta_m = \frac{T_e \Omega_e}{T_c \Omega_c} = \frac{\Omega_a (N - 1) T_0 m \sqrt{n} \alpha}{T_c \Omega_c \sqrt{\tau \Delta f}}. \quad (4)$$

Полагая  $m = 30$ ,  $n = 10$ ,  $T_0 = 300$ ,  $\Omega_c = 0,2$  кв. град., находим:

$$\eta_m = 1,5 \cdot 10^5 \frac{\Omega_a (N - 1) \alpha}{T_c \sqrt{\tau \Delta f}}, \quad (4')$$

где  $\Omega_a$  выражено в кв. градусах.

Приведем численные примеры:

1)  $\lambda = 10$  см;  $N - 1 = 30$ ;  $\Omega_a = 30$  кв. град.;  $\alpha = 1$ ;  $T_c = 60 \cdot 10^3$ ;  $\Delta f = 10^7$ ;  $\tau = 1$  сек. Тогда  $\eta_m = 0,07$ .

2)  $\lambda = 5$  м;  $N - 1 = 2$ ;  $\Omega_a = 100$  кв. град.;  $\alpha = 1$ ;  $T_c = 10^6$ ;  $\Delta f = 10^6$ ;  $\tau = 1$  сек. Тогда  $\eta_m = 0,3$ .

Таким образом на установках с разумными характеристиками антенн в диапазоне сантиметровых волн можно уверенно регистрировать импульсы длительностью в 1 сек. с интенсивностью около 10% от общего фона радиоизлучения Солнца, а на метровых волнах — с интенсивностью порядка нескольких десятков процентов.

Все приведенные вычисления относились к случаю одной антенны и одного приемного устройства. В случае двух антенн двух приемных устройств, включенных параллельно, считая, что осуществлено полное согласование, очевидно, что отношение полезной мощности и мощности шумов на входе каждого из приемников не изменится, следовательно, все формулы сохраняются.

Отметим далее, что указанный метод, соединяющий в себе как бы две установки, дает возможность в принципе разделить флуктуации интенсивности и координат источника. Если пользоваться системой с осциллографом, то колебания интенсивности будут сказываться на величине отрезка прямой, т. е. будут вызывать и одновременное изменение амплитуд в обоих каналах, в то время как флуктуации координат источника будут вызывать изменение наклона линии.

В заключение заметим, что описанная система имеет много общего с системами, состоящими из двух взаимно-перпендикулярных рамок, применяемых для определения направления прихода отдельных импульсов атмосферных радиопомех<sup>(9)</sup>. Существенная разница, однако, состоит в том, что в описанной системе используются преимущества интерференционного метода, и принцип относительного сдвига диаграмм приема двух каналов осуществлен соответствующим подключением входов приемников к той же интерференционной системе, состоящей из двух антенн.

Описанный метод наблюдений за радиоизлучением Солнца при его применении, несомненно, даст ценный материал о природе импульсов радиоизлучения.

Поступило  
10 I 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> M. Schulkin, F. Haddock, K. Decker, C. Mayer, J. Hagek, *Phys Rev.*, 74, 840 (1948). <sup>2</sup> A. E. Covington, *Proc. Inst. Rad. Eng.*, 36, 454 (1948); 37, 407 (1949). <sup>3</sup> J. Houtgast, M. Laffineur, *C. R.*, 227, 717 (1948). <sup>4</sup> J. Wild, L. McCready, *Austr. J. Sci. Res.*, A, 3, 387 (1949). <sup>5</sup> J. Wild, *ibid.* <sup>6</sup> R. Payne-Scott, *ibid.*, 2, 214 (1949). <sup>7</sup> J. Jaeger, K. Westfold, *ibid.*, 3, 376 (1950). <sup>8</sup> В. В. Виткевич, *ДАН*, 78, № 4 (1951). <sup>9</sup> В. В. Виткевич, *Радиотехника*, № 2 (1946).